UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, INFORMÁTICA Y MECÁNICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNIICA



MANUAL MOTORES COMBUSTIÓN INTERNA

DOCENTE

ALFONSO HUAMÁN

ALUMNO

BERTHING JHALIN GUTIÉRREZ BRENIS

CUSCO - PERÚ - 2017

1) GNV

a El GNV es una mezcla de hidrocarburos parafínicos compuesta, en mayor proporción, por metano (CH_4) y en proporciones menores por otros hidrocarburos. Esta mezcla contiene, generalmente, impurezas tales como vapor de agua, sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono y otros gases inertes. Una vez separado el gas natural del petróleo crudo, se somete a un proceso de extracción de líquidos obteniéndose el Gas Metano, el cual se transporta hacia los centros de consumo a través de la red de gasoductos. El GNV posee un octanaje igual a 130 (RON), lo que quiere decir, que tiene una resistencia antidetonante mayor que la mejor gasolina automotriz, trayendo como consecuencia el uso de este combustible, un funcionamiento más suave del motor, con posibilidades muy remotas al pistoneo, con una duración mayor del motor.

Por estas razones, se deben realizar ajustes sobre el motor tales como adelanto del encendido de la chispa en las bujías y ajustes del caudal de combustible para garantizar una mezcla estequiométrica y garantizar la menor pérdida posible de potencia en todo el rango de operación del motor [2].

TABLE A-2 PROPERTIES OF FUELS

Fuel		Molecular Weight	Heating Value HHV (kJ/kg)	Heating Value LHV (kJ/kg)	Stoichiometric $(AF)_s$	Stoichiometric $(FA)_s$	Octane Number MON	Octane Number RON	Heat of Vaporization (kJ/kg)	Cetane Number
gasoline	C_8H_{15}	111	47300	43000	14.6	0.068	80–91	92–99	307	
light diesel	$C_{12.3}H_{22.2}$	170	44800	42500	14.5	0.069			270	40–55
heavy diesel	$C_{14.6}H_{24.8}$	200	43800	41400	14.5	0.069			230	35–50
isooctane	C_8H_{18}	114	47810	44300	15.1	0.066	100	100	290	
methanol	CH_3OH	32	22540	20050	6.5	0.155	92	106	1147	
ethanol	C_2H_5OH	46	29710	26950	9.0	0.111	89	107	873	
methane	CH_4	16	55260	49770	17.2	0.058	120	120	509	
propane	C_3H_8	44	50180	46190	15.7	0.064	97	112	426	
nitromethane	CH_3NO_2	61	12000	10920	1.7	0.588			623	
heptane	C_7H_{16}	100	48070	44560	15.2	0.066	0	0	316	
cetane	$C_{16}H_{34}$	226	47280	43980	15.0	0.066			292	100
heptamethylnonane	$C_{12}H_{34}$	178			15.9	0.063				15
α-methylnaphthalene	$C_{11}H_{10}$	142			13.1	0.076				0
carbon monoxide	CO	28	10100	10100	2.5	0.405				
coal (carbon)	C	12	33800	33800	11.5	0.087				
butene-1	C_4H_8	56	48210	45040	14.8	0.068	80	99	390	
triptane	C_7H_{16}	100	47950	44440	15.2	0.066	101	112	288	
isodecane	$C_{10}H_{22}$	142	47590	44220	15.1	0.066	92	113		
toluene	C_7H_8	92	42500	40600	13.5	0.074	109	120	412	
hydrogen	H_2	2	141800	120000	34.5	0.029		90		

Ilustración 1: Fuente [1]

Comparación con otros combustibles.

Table 1. Properties of H_2, CH_4 and Diesel at 1.013 bar and 273 K.[15,16]

	Unit	H_2	CH_4	Diesel
Density (at 273°K, 1013 mbar)	kg/m^3	0.09	0.72	820–840
λ-ignition limit in air	–	0.13–10	0.6–2.0	0.48–1.35
Minimal ignition energy	mJ	0.017	0.29	0.24
Self-ignition temperature	°C	585	595	320–380
Laminar flame propagation velocity (λ = 1)	cm/s	230	42	40
Stoichiometric air demand, AFR_{St}	kg/kg	34.3	17,2	14.7
Lower heating value (LHV)	MJ/kg	120	50	43
Mixture calorific value (MCV), mixture-aspirating	MJ/m^3	3.2	3.4	–
MCV, air-aspirating	MJ/m^3	4.5	3.95	3.77

Fuente : [6]

a) COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición del gas que se introduzca en los sistemas estará limitada como se indica en la tabla . Estos límites serán diferentes cuando en el sistema se licúe gas natural para almacenamiento y posterior retorno al sistema [3].

Componente	Nomenclatura	Composición (%)	Estado Natural
Metano	CH4	95,08	Gas
Etano	C2H4	2,14	Gas
Propano	C3H8	0,29	Gas licuable (GLP)
Butano	C4H10	0,11	Gas licuable (GLP)
Pentano	C5H12	0,04	Líquido
Hexano	C6H14	0,01	Líquido
Nitrógeno	N2	1,94	Gas
Gas Carbónico	CO2	0,39	Gas

Fuente: [4]

Propiedad	Unidad	Cantidad
Poder calorífico superior	KJ/Kg	49.500
Poder calorífico superior	$Kcal/m^3$	9.500
Poder calorífico inferior	KJ/Kg	44.500
Poder calorífico inferior	$Kcal/m^3$	8.500
Densidad relativa	Adimensional	0,65
Densidad absoluta	Kg/m^3	0,8
Presión de Servicio	mm.c.a	180
Índice de Wobbe	$Kcal/m^3$	12.307

Propiedades [5]

2) COMPOSICIÓN GRAVIMÉTRICA

La mezcla aire combustible para las diferentes condiciones de prueba fue óptima, obteniéndose valores de Lambda de 1,00 para el vehículo con el equipo de lazo cerrado, y entre valores entre 1,01 y 1,03 para el vehículo con presión positiva, demostrándose un buen ajuste de la mezcla en diferentes condiciones de operación del motor [2].

Por lo que se decide:

$$\alpha = 0.95$$

Tabla 1. Límites de componentes mayoritarios y minoritarios

Nombre	Límite	Valor % molar
Metano (C1)	Mín.	80,0
Etano (C2)	Máx.	12,0
Propano (C3)	Máx.	3,0
Butanos y más pesados (C4+). De éstos, hidrocarburos insaturados total.	Máx. Máx.	1,5 0,2
Dióxido de carbono (CO_2)	Máx.	8,5
Nitrógeno (N_2)	Máx.	1,0
Hidrógeno (H_2)	Máx.	0,1
Oxígeno (O_2)	Máx.	0,1
Monóxido de Carbono	Máx.	0,1

COMPONENTES EN TRAZAS

Nombre	Límite	Unidad	Valor
Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	Máx	mg/m^3 ppm molar	17,3 12
Azufre total para gas no odorizado.	Máx	mg/m^3 ppm molar	38 28
Azufre total para gas odorizado.	Máx	mg/m^3 ppm molar	49 36
Agua	Máx	mg/m^3 [$lb/10^6$ SCF]	112 [7]

Ilustración 2: Fuente [3]

Según la cromatografía del estudio [2], se utilizará la siguiente composición química.

Tabla 2: Valores obtenidos de la cromatografía de gases

Nombre	Valor % molar
Metano (C1)	84,10
Etano (C2)	6,51
Propano (C3)	0,60
Butanos y más pesados (C4+)	0,52
Dióxido de Carbono (CO_2)	8,05
Nitrógeno (N_2)	0,22
Hidrógeno (H_2)	0,00
Oxígeno (O_2)	0,00
Monóxido de carbono	0,00

3) PARÁMETROS DISEÑO

	HP	RPM	ε	COMBUST	CARACTERISTICA
GARCIA AROTAIPE, Joule	120	3165	11.40	gasolina	90 Octanos
GONZALES-VARGAS-RAFAEL	180	2350	10.45	Diesel	
GUTIERREZ-BRENIS-BERTHING JHALIN	164	3150	11.75	GNV	

a) DATOS DE DISEÑO

POTENCIA NOMINAL	(Ne)	122	KW, HP
VELOCIDAD NOMINAL	(n)	3150	RPM
T(o)		288	K
P(o)		0.069	Mpa
α		0.95	
ε		11.75	
Hu		44.5	MJ/Kg

De [2] se define el valor de α, de [5] se extrae el poder calorífico inferior.

4) COMPOSICIÓN GRAVIMÉTRICA

La composición gravimétrica [4].

COMPOSICION	FORMULA	%	C	H	O	masa	%carbono	%hidrogen	%oxigeno	%nitrogen	
METANO	CH4	95.08	12	4		16.000	0.713	0.238	0.000	0.000	
ETANO	C2H6	2.15	24	6		30.000	0.017	0.004	0.000	0.000	
PROPANO	C3H8	0.29	36	8		44.000	0.002	0.001	0.000	0.000	
BUTANO	C4H10	0.15	48	10		58.000	0.001	0.000	0.000	0.000	
NITROGENO	N2	1.94	0	0		28.002	0.000	0.000	0.000	0.027	
DIOXIDO DE	CO2	0.39	12		32	44.000	0.001	0.000	0.003	0.000	
TOTAL	=	100.00				220.002	0.735	0.243	0.003	0.027	1.0

La tabla mostrada es desarrollada así, se ingresa el peso "total" del carbono hidrógeno y oxígeno, 2 se se encuentra el peso molecular porcentual que dicho elemento representa en la molécula del componente del combustible, se comprueba como la última celda, que suma 1, representando el 100 % en el peso del combustible.

a) RELACIÓN ESTEQUIOMÉTRICA lo

$$(1) \quad l_o = \frac{1}{0,23}\left(\frac{8}{3}C + 8H - O_c\right) \text{ Kg aire/Kg.comb}$$

Determinamos este parámetro, de acuerdo a la composición gravimétrica del combustible, es importante por indicarnos la cantidad de aire "perfecta" para combustionarla con el combustible, y asi tener una idea numérica del consumo de exceso o deficiencia de aire (α, un parámetro muy importante de funcionamiento del motor.

En nuestro caso

l(o)	=	16.954	Kmol -aire/Kg -comb

b) RELACIÓN ESTEQUIOMÉTRICA mol/mol Lo

$$(2) \quad Lo = \frac{1}{0,21}\left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O_c}{32}\right) \text{ Kmol aire/Kg.comb}$$

El mismo concepto de lo, con unidades en razón distinta, el aire es medido en "kmoles"

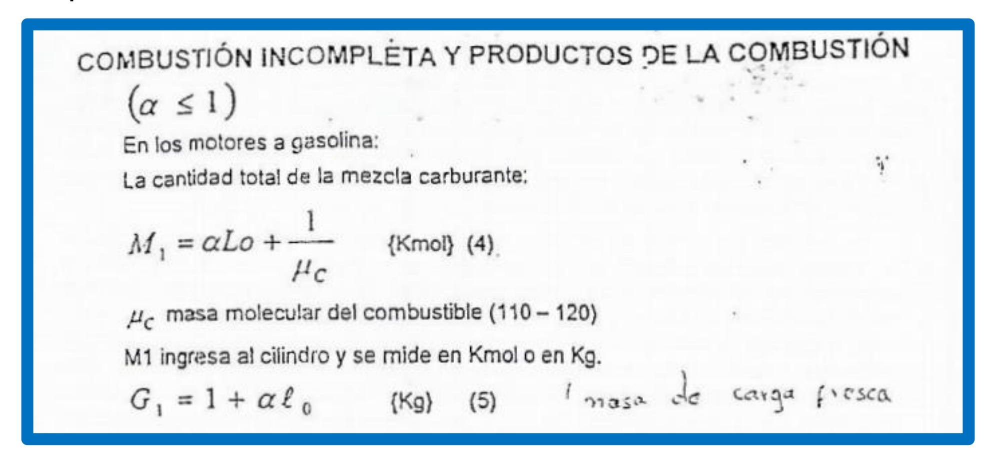
c) PESO ESPECÍFICO DEL AIRE

Este número relaciona las dos relaciones estequiométricas mencionadas, no es un parámetro relevante, más allá de poder comprobar la relación entre dichas razones estequiométricas.

$$(3)\ l_0 = \mu_a L_0$$

d) CARGA FRESCA M1

Para determinar este parámetro necesitamos determinar el "coeficiente de exceso de aire α", según referencia [2], se visualuza que para el GNV este valor está muy cercano a 1, inclinándonos por una combustión incompleta.



COMBUSTIÓN INCOMPLETA Y PRODUCTOS DE LA COMBUSTIÓN

$(\alpha \leq 1)$

En los motores a gasolina:

La cantidad total de la mezcla carburante:

$$M_1 = \alpha Lo + \frac{1}{\mu_C} \quad \{Kmol\} \quad (4)$$

μ_C masa molecular del combustible (110 – 120)

M1 ingresa al cilindro y se mide en Kmol o en Kg.

$$G_1 = 1 + \alpha \ell_0 \quad \{Kg\} \quad (5)$$ masa de carga fresca

Fuente : [7]

Donde para nuestro caso μc se determina igual al del metano [1].

Para nuestro caso

$$M(1) = \alpha L(o) + \left(\frac{1}{u(C)}\right)$$

M(1)	=	0.614	Kmol

i) G1

Parámetro útil más adelante.

$$G_1 = 1 + \alpha \ell_0 \quad \{Kg\} \quad (5)$$ masa de carga fresca

e) K

Este parámetro representación la relación entre el número de moles del hidrógeno, y del monóxido de carbono, se determina por tener una característica de ser constante y no depender de α.

$$\frac{H}{C} = 0.33$$

Nuestra razón excede los valores de rango, por lo que se asigna el mayor valor dado.

f) PRODUCTOS DE COMBUSTIÓN

Se determinan tales índices con el objetivo de hallar la mezcla combustionada M2 (no incluye la residual), esta es determinada bajo las siguientes expresiones para "Combustión Incompleta"

$$M_{CO} = 0.42 \frac{1-\alpha}{1+K} Lo \; [Kmol] \quad (20)$$

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - M_{CO} \; [Kmol] \quad (21)$$

$$M_{H_2} = 0.42 \, K \frac{1-\alpha}{1+K} Lo \; [Kmol] \quad (23)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 0.42 \, K \frac{1-\alpha}{1+K} Lo \; [Kmol] \quad (25)$$

$$M_{N_2} = 0.79 \, \alpha Lo \; [Kmol] \quad (27)$$

Hallando M2 bajo el concepto de la suma general.

Para nuestro caso se determinó el M2 con el siguiente valor.

i) M(2O) Y Mα

$$M_{2o} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0.79 L_o$$

Para luego determinar nuestro Mα

$$M_{2\alpha} = M_{2O} - M_2$$

g) COEFICIENTE DE VARIACIÓN MOLECULAR TEÓRICO μo

Equivalente a βo, en este punto se conocen M2 Y M1. Con la razón de ambos determinamos el mismo.

$$u(o) = \left(\frac{M2}{M1}\right)$$

i) COEFICIENTE DE VARIACIÓN MOLECULAR ro

$$r(o) = \left(\frac{M20}{M2}\right)$$

ii) COEFICIENTE r(α)

$$r(\alpha) = \left(\frac{M2\alpha}{M2}\right)$$

iii) COMPROBACIÓN ENTRE r (o) y r(α)

La diferencia de estas fracciones volumétricas deberá ser igual a uno, para comprobar el correcto cálculo. $r_o - r_\alpha = 1$

5) PROCESO DE ADMISÓN

Por no haber un sistema de alimentación y/o refrigeración de aire, este se considera en condiciones de entrada.

$$\rho(K) = \rho(o)$$

Por lo tanto, el trato es de la naturaleza de motor "NO SOBREALIMENTADO"

a) DENSIDAD DE AIRE

Dato que se extrae del tratamiento de fluido ideal del mismo.

$$\rho(o) = \left(\frac{Po}{RaTo}\right) * 10^6\, Kg/m^3$$

$$Ra = \frac{8314}{ua}$$

c) PÉRDIDAS HIDRÁULICAS EN EL MÚLTIPLE DE ADMISIÓN ΔPa

$$\Delta P_a = (\beta^2 + \xi_{ad}) \frac{\omega^2_{ad}}{2} \rho_o \cdot 10^{-6} \text{ MPa} \quad (30)$$

Siendo:

β : factor de amortiguamiento de carga

ξ ad : coeficiente de amortiguamiento de la carga fresca en la sección más estrecha.

$$(\beta^2 + \xi_{ad}) = 2{,}5 \ldots\ldots 4{,}0$$

Entonces este valor es asumido:

En nuestro caso, se asumió un valor de 4.

ω_{ad} Velocidad del aire en el múltiple de admisión. (50 - 130 m/s)

En nuestro caso específicamente se toma el valor de 80, por tratarse de un valor medio.

Una vez hallada la caída de presión en el múltiple se halla la presión de ingreso. Pa.

$$Pa = Po - \Delta Pa$$

Considerando que esta no se encuentra del 0.8 a 0.9 por ciento de la presión antes de recorrido [7].

d) COEFICIENTE DE GASES RESIDUALES

$$\gamma_r = \frac{T_o + \Delta T}{T_r} \times \frac{P_r}{\varepsilon \cdot P_a - P_r}$$

La variación de temperatura

ΔT -Temperatura de calentamiento de la carga varía para los diesel sin sobrealimentación 20....40 grados Kelvin ; Para el motor con formación externa de los gases de 0 hasta 20 grados Kelvin. Para los motores diesel sobre alimentados de 0 a 15 K

Para nuestro caso, (trato como MECH), nuestra variación de temperatura va desde el valor de ΔT va de 0 (muy poco probable) hasta 20 (ΔK = Δ°C).

T_r - Temperatura de los gases residuales en grados K. Este valor se tiene que asumir por el momento y varía para los diesel entre 700 a 900 K; Para los motores a gasolina entre 900 y 1000.K

Tr, varía en nuestro caso de 900 a 100 K, se supuso el valor más bajo en nuestro caso.

P_r - Presión de los gases residuales en Mpa. También se debe asumir P_r= (1,1....1,25)Po

En nuestro caso se asumió un valor de presión residual proporcional a la temperatura de gases residuales (la más baja).

Determinándose un nuestro caso.

Y(r)	=	0.041

e) MASA DE GASES RESIDUALES

$$Mr = Yr * M1$$

f) TEMPERATURA AL FINAL DE LA ADMISIÓN

$$T_o = \frac{T_K + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} \qquad (35)$$

Valor válido para la consideración de φ=1

g) COEFICIENTE DE LLENADO, EFICIENCIA VOLUMÉTRICA ηv

$$\eta v = \varphi 1 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1}\right)\left(\frac{Pa}{Po}\right)\left(\frac{To}{Ta(1+Yr)}\right)$$

En este punto ya se considero, que φ1=1. Y tenemos todos los parámetros conocidos.

Para nuestro caso este valor corresponde:



n(v)	=	0.792

6) PROCESO DE COMPRESIÓN

a) IMPORTANTE

Es a partir de este punto que el uso de tablas se hace importante, no hay problema con las tablas 1 2 por que estas se refieren al aire, componente en toda combustión de MCI. El detalle surge en las tablas de combustible por que en la página 66 del libro de JOVAJ o en el ANEXO de ARTURO MACEDO SILVA estas tablas solo están dadas para gasolina y para diesel, se obtuvo otras tablas a partir de [8] la obtención de dichas tablas se explica con detalle en el ANEXO 1.

b) DESARROLLO

Se analiza el intercambio de calor, y el trabajo añadido, análisis que va de la mano de la primera ley de la termodinámica.

$$q_1 = \frac{(1-\gamma_r r_a)}{(1+\gamma_r)} \; ; \; q_2 = \frac{r_0 \gamma_r}{(1+\gamma_r)} \text{ para los motores con } \alpha < 1 \text{ gasolineros.}$$

OJO q1+ q2 = 1

Con los datos todos conocidos en este punto.

$$q_1(U_c - U_a) + q_2(U''_c - U''_a) - \frac{R}{n_1 - 1}(T_c - T_a) = 0 \quad (46)$$

La ecuación mostrada es nuestro patrón, en este punto conocemos q1 y q2, recordemos que "las dos comillas " <"> representa a los productos de combustión. Ya conocemos la temperatura Ta, pero no T, conociendo está conocemos las energías internas en el aire Uc a temperatura Tc y la de los productos de combustión U"c a la Tc.

Entonces por ahí va el camino, uno tiene que suponer esta temperatura, pero la supone "indirectamente", suponiendo el coeficiente politrópico.

n_1 - 1,30 - 1,37, para motores a gasolina.

Como solo contamos de una ecuación, y con varias incógnitas que por bien del desarrollo matemático se relaciones con tablas, decimos que es una ecuación no lineal, que como se sabe su solución es por medio de la iteración, o con menos precisión, el camino es el siguiente :

1. Asumimos un valor de n1 1 y hallamos el valor de toda la función, que difícilmente coincidirá con 0 (nuestro objetivo)
2. Asumimos un segundo valor de n1 2 y hallamos el valor de la función con dichos valores.
3. Con n1 1 y n1 2 interpolaremos (o extrapolaremos) nuestro índice politrópico con el índice que nos devolvería el 0.

Una vez conocido este índice politrópico medio, obtendríamos por la relación de Proceso Politrópico las temperaturas al final de la compresión

$$T(c) = T(a)\varepsilon^{n(1)-1} - 273$$

$$P(c) = P(a)\varepsilon^{n(1)}$$

7) PROCESO DE COMBUSTIÓN

a) COEFICIENTE DE VARIACIÓN MOLECULAR REAL µr

Estudiado con la misma denominación, pero con diferente símbolo (β r)

$$u(r) = \frac{M2 + Yr * M1}{M1(1+Yr)}$$

Todos los componentes son conocidos.

b) CALOR NO DESPRENDIDO EN LA COMBUSTIÓN

$$(\Delta Hu)_{quim} = A(1-\alpha)Lo \quad \text{(J / kmol)} \quad (65)$$

$$A = (110...120)10^6$$

Aquí otro valor a asumir: A

Para nuestro cálculo nosotros asumimos un valor "medio" 156.

c) PODER CALORÍFICO DE LA MEZCLA

En caso de α <1 el poder calorifico de la mezcla es:

$$H_{mez} = \frac{Hu - (\Delta Hu)_{quim}}{1+\alpha Lo} \quad \text{o bien} \quad H_{mez} = \frac{Hu - (\Delta Hu)_{quim}}{\frac{1}{\mu_C} + \alpha Lo}$$

Con ningún problema con todos los componentes conocidos.

d) CÁLCULO DE PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN

y generalmente asume el valor de 1,8. Nos queda asumir el valor de ξ_z: Para ξ_z = (0,8 - 0,9 a gasolina y 0,65 - 0,8 para los diesel).

El coeficiente de aprovechamiento de calor ξz es otro valor a asumir.

En nuestro caso de tomo el valor más alto, por considerar la buena combustión, muy cercana a la estequiométrica en el caso del gas natural.

$$\frac{\xi_z (Hu - (\Delta Hu)_{quim})}{(1+\gamma_r)M_1} + \frac{U_c + \gamma_r U''_c}{1+\gamma_r} = \mu_r U''_z = A$$

$$U_c = (\mu C_v)_c t_c \quad (66)$$

Energía interna del aire a la temperatura tc.

$$(\mu C_v'') = (\mu C_v)_{CO_2} r_{CO_2} + (\mu C_v)_{H_2O} r_{H_2O} + (\mu C_v)_{O_2} r_{O_2} + (\mu C_v)_{N_2} r_{n_2} \quad (68)$$

Energía interna del los Productos de combustión (mezcla a dicha temperatura), para un buen grado de precisión se utiliza la tabla 1 de productos de combustión, esta es afectada por su composición en la mezcla.

De la gran ecucación los componentes de la izquierda se extrae un valor, por contar con todos los parámetros conocidos indirectamente, el termino de la derecha, tien que acercarse a este valor de A, otra vez contamos con una una ecuación no lineal, con solución de iteraciones o solución de dos iteraciones e interpolación.

Hasta llegar al valor verdadero de Tz.

e) PRESIÓN EN EL PUNTO DE MÁXIMA TEMPERATURA Pz

Entonces tenemos que $P_z = \mu_r \frac{T_z}{T_c} P_c$ (70)

no es un proceso politrópico entonces la relación es determinada por la ecuación de estado en ambos puntos (c y z).

f) COEFICIENTE DE ELEVACIÓN DE PRESIONES

Volvamos al motor gasolinero. En nuestro cálculo, el grado de elevación de la presión durante la combustión es $\lambda = \mu_r \frac{T_z}{T_c}$ que corresponde a la presión máxima del ciclo.

La presión teórica o calculada es: $P_{z_{cal}} = \lambda P_c$

Conocidos ya las presiones Pz y Pc este parámetro de relevancia el conocido.

$$\lambda = \frac{Pz(teor)}{Pc}$$

g) PRESION Pz REAL

Esta presión en la realidad es un tanto menor al teórico, que tanto, un factor de 0.85.

Para el cálculo de Pz real se utiliza un coeficiente empírico φ_z que toma en consideración el aumento de volumen de la cámara de combustión en el instante en que alcanza la máxima presión, es decir: $P_{z_{REAL}} = \varphi_z P_{z_{cal}}$

Donde el valor de φ_z se asume generalmente 0,85.

$$\lambda = \frac{P_z}{P_c} \quad \text{Y} \quad P_{z_{REAL}} = 0.85\, P_z \quad (71)$$

8) PROCESO DE EXPANSIÓN

$$\frac{(\xi_b - \xi_z)Hu}{M_1(\mu_0 + \gamma_r)} = \frac{R}{n_2 - 1}(T_z - T_b) - r_a(U_z - U_b) - r_0(U''_z - U''_b) \quad (73)$$

donde ξ_b - 0,82 - 0,87 y 0,92 en los sobre alimentados

$$\frac{(\xi_b - \xi_z)Hu}{M_1(\mu_0 + \gamma_r)} = \frac{R}{n_2 - 1}(T_z - T_b) - r_a(U_z - U_b) - r_0(U''_z - U''_b) \quad (73)$$

donde ξ_b - 0,82 - 0,87 y 0,92 en los sobre alimentados

acá se tiene rangos de valores para

ξb : 0.82 -0.87 (se toma el valor de 0.83)

ξz : 0.9

tenemos una vez más el mismo procedimiento tenemos que llegar a la igualdad de está solución no lineal por medio de la suposición indirecta de la temperatura al final del recorrido Tb.

n_2 - 1,23 - 1,30 para gasolineros. 1,18 - 1,28 para diesel.

Asumiendo n2 encontramos Tb,las energías del aire Ub y los productos a dicha temperatura U"b y forzamos la igualdad de los componentes por medio de la iteración, hasta llegar al valor verdadero del la variable que comenzamos suponiendo.

para con ello determinar el valor de Tb.

$$Tb = Tz \frac{1}{\varepsilon^{n2-1}}$$

Y determinar el valor al final de la expansión.

$$Pb = Pz \frac{1}{\varepsilon^{n2}}$$

9) PARÁMETROS PRINCIPALES

a) PRESIÓN MEDIA INDICADA

1.- Presión media indicada calculada del diagrama indicado para un motor a gasolina.

$$(P_i)_{cal} = P_a \frac{\varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1}\left[\frac{\lambda}{n_2 - 1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}}\right) - \frac{1}{n_1 - 1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}}\right)\right] = MP_a$$

b) PRESIÓN MEDIA INDICADA REAL

Presión media indicada real:

$$P_i = \varphi_i (P_i)_{cal} \quad \text{(Mpa)}$$

φ_i - coeficiente de redondeo o plenitud del diagrama indicado. (0,95 - 0,97)

En este parámetro principal tenemos:
Un coeficiente de redondeo φi, que en nuestro cálculo se asumió el valor medio de 0.96

c) PRESIÓN MEDIA

$$Pm = A + B * Vp$$

Donde Vp es la velocidad media del pistón [m/s]
Vp <10 m/s en Diesel; Vp =10 – 16 m/s en gasolineros;

Valores de los coeficientes A y B para motores gasolineros:

S/D mayor que 1	A = 0,05	B = 0,0155
S/D menor que 1	A = 0,04	B = 0,0135

A esta altura es supuesta la velocidad del pistón, siendo está comprobada al final con las dimesiones finales.

Se sabe que si S/D mayor que 1, el motor es lento

Y si S/D menor que 1 el motor es rápido.

d) PRESIÓN MEDIA EFECTIVA

Presión media efectiva del ciclo.

$$P_e = P_i - P_m$$

e) RENDIMIENTO MECÁNICO

Eficiencia mecánica.

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i} \Rightarrow \frac{P_e}{P_i}$$

f) CONSUMO ESPECÍFICO INDICADO DE COMBUSTIBLE

$$g_i = 3600 \frac{\rho_o \eta_v}{\alpha l_o P_i}$$ g / KW.h Para motores sin turbo

ρ_o Densidad del aire atmosférico en Kg/ m^3

$$\rho_o = \frac{P_o}{R_a T_o} = \frac{P_o \mu_o}{(8314)T_o} 10^6 = 1.209 \frac{K_g}{m^3}$$

$$R_a = 8314 / \mu_o$$

$$\mu_o = 28{,}96 \Rightarrow aire$$

g) CONSUMO ESPECÍFICO EFECTIVO DE COMBUSTIBLE

Consumo específico efectivo de combustible.

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m} \text{ en (g / KW.h)}$$

$$g_e = 3600 \frac{\rho_k \eta_v}{\alpha l_o P_e}$$

h) RENDIMIENTO INDICADO

6.- Rendimiento indicado:

Si se conoce el poder calorífico del combustible:

$$\eta_i = \frac{1}{H_u g_i}$$

H_u en (J / kg) y g_i en (Kg / J)

En los cálculos prácticos;

$$\eta_i = \frac{3{,}6(10^3)}{H_u g_i}$$

H_u en (MJ / kg) y g_i en (g /Kw.h)

i) EFICIENCIA EFECTIVA

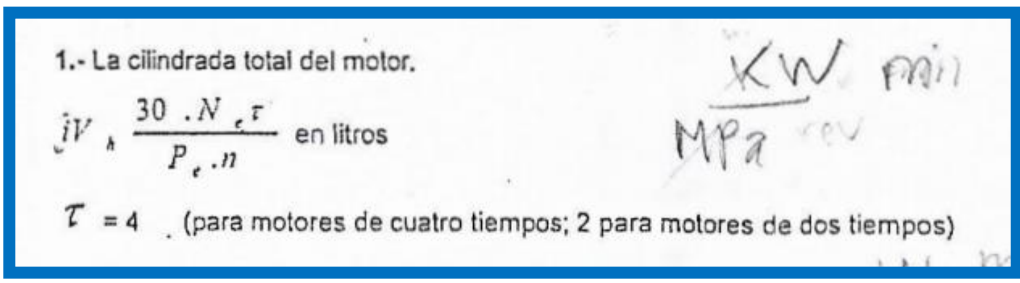
Eficiencia efectiva.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$$

$$\eta_e = \frac{l_o}{H_u} \cdot \frac{\alpha P_e}{\eta_v \cdot \rho_k}$$

10)DIMENSIONES PRINCIPALES DEL MOTOR

a) CILINDRADA TOTAL



1.- La cilindrada total del motor.

$$iV_h = \frac{30 \cdot N_e \tau}{P_e \cdot n} \text{ en litros}$$

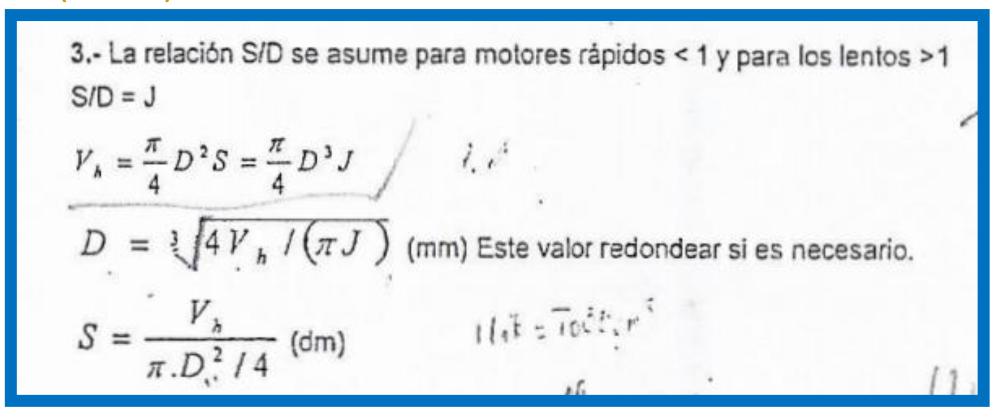
$\tau = 4$ (para motores de cuatro tiempos; 2 para motores de dos tiempos)

Este es el valor probablemente que mayor expectativa da, al empezar el cálculo de funcionamiento del motor.

iVh	=	12.699	LITROS

En nuestro caso es 12.7 litros, es un motor grande.

b) CARRERA S (STROKE) Y DIAMETRO D



3.- La relación S/D se asume para motores rápidos < 1 y para los lentos >1

S/D = J

$$V_h = \frac{\pi}{4} D^2 S = \frac{\pi}{4} D^3 J$$

$$D = \sqrt[3]{4V_h / (\pi J)}$$ (mm) Este valor redondear si es necesario.

$$S = \frac{V_h}{\pi \cdot D^2 / 4}$$ (dm)

J	=	0.950	ASUMIDO

Acá es necesario el criterio del diseñador hay recomendaciones, pero en base a la cilindrada hay toda una relación de carreras y diámetros aplicables al motor.

c) VELOCIDAD REAL DEL PISTÓN

$$V_p = \frac{Sn}{30} \text{ m/s}$$

11)BIBLIOGRAFÍA

[1] Engineering Fundamentals Internal Combustion Engine
UNIVERSITY OF WISCONSIN
WILLARD PULKRABEL

[2] Efecto sobre la potencia y emisiones de escape en vehículos con sistemas bi-combustibles, GNV y Gasolina
SEVENTH LACCEI LATIN AMERICAN AND CARIBBEAN CONFERENCE FOR ENGINEERING AND TECHNOLOGY (LACCEI'2009)

[3] COVENIN 3568-2:2000
NORMA VENEZOLANA
GAS NATURAL. CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE CALIDAD. PARTE 2: GAS DE USO GENERAL PARA SISTEMAS DE TRANSPORTE TRONCALES DE LIBRE ACCESO

[4] EL BLOG DE QUK
http://www.blogdequk.com/2011/03/el-gas-natural-se-encuentra-en-el.html
CONSULTA: 28.08.2017

[5] Ingeniería Mecánica - Combustible
http://ingmecanicamc.blogspot.pe/2014/04/glp-vs-gn.html
CONSULTA: 28.08.2017

[6] Thermodynamic investigation of different natural gas combustion processes on the basis of heavy-duty engine
KLAUS BARNSTEDT, REINHARD RATZBERGER, PETER GRABNER AND HELMUT EICHLSEDER

[7] Diseño de Motores de Combustión Interna
ARTURO MACEDO SILVA

[8] Thermodynamic Transport Properties Air Combustion Products Natural Gas ASTM A-1 Fuel Air
NASA TECHNICAL NOTE 1969

12)ANEXOS

a) ANEXO 1

NASA TECHNICAL NOTE



NASA TN D-5452

c. 1

NASA TN D-5452



THERMODYNAMIC AND TRANSPORT PROPERTIES OF AIR AND THE COMBUSTION PRODUCTS OF NATURAL GAS AND OF ASTM-A-1 FUEL WITH AIR

by David J. Poferl, Roger A. Svehla, and Kenneth Lewandowski

Lewis Research Center
Cleveland, Ohio

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION • WASHINGTON, D. C. • OCTOBER 1969

TABLE III. - ADIABATIC COMBUSTION TEMPERATURES OF NATURAL GAS AND OF ASTM-A-1 BURNED IN AIR AT 3 AND 10 ATMOSPHERES (3.04×10^5 AND 10.13×10^5 N/m^2)

Fuel	Pressure, P		Fuel-air ratio, F/A	Adiabatic combustion temperature, K	Fuel	Pressure, P		Fuel-air ratio, F/A	Adiabatic combustion temperature, K
	atm	N/m^2				atm	N/m^2		
Natural gas	3	3.04×10^5	0	[a]298	ASTM-A-1	3	3.04×10^5	0	[a]298
	↓		.0100	745		↓		.0100	708
	↓		.0200	1130		↓		.0200	1068
	↓		.0400	1770		↓		.0400	1684
	↓		.0600	2242		↓		.0600	2182
						↓		.0682	2307
	10	10.13×10^5	0	[a]298		10	10.13×10^5	0	[a]298
	↓		.0100	745		↓		.0100	708
	↓		.0200	1130		↓		.0200	1068
	↓		.0400	1771		↓		.0400	1684
	↓		.0600	2262		↓		.0600	2192
						↓		.0682	2333

[a]Initial fuel and air temperatures were assumed to be 298 K.

TABLE IV. - THERMODYNAMIC AND TRANSPORT PROPERTIES OF NATURAL GAS BURNED IN AIR AT 3 ATMOSPHERES (3.04×10^5 N/m^2)

Temperature, T, K	Fuel-air ratio, F/A	Ratio of specific heats, γ	Molecular weight, m	Viscosity, μ, g/(cm)(sec)	Specific heat at constant pressure, c_p		Thermal conductivity, k		Prandtl number, Pr
					cal/(g)(K)	J/(g)(K)	cal/(cm)(sec)(K)	J/(cm)(sec)(K)	
[a]300	0.0100	1.2287	29.410	1.76×10^{-4}	0.2414	1.010	0.60×10^{-4}	2.5×10^{-4}	0.709
400		1.3888	28.757	2.22	.2469	1.033	.77	3.2	.712
500		1.3796		2.62	.2512	1.051	.93	3.9	.710
600		1.3687		2.98	.2566	1.074	1.08	4.52	.709
700		1.3573		3.30	.2625	1.098	1.22	5.10	.708
800		1.3463		3.61	.2687	1.124	1.37	5.73	.708
900		1.3364		3.89	.2745	1.149	1.51	6.32	.707
1000		1.3280		4.16	.2798	1.171	1.65	6.90	.707
1100		1.3210		4.42	.2844	1.190	1.78	7.45	.706
1200		1.3145		4.67	.2888	1.208	1.91	7.99	.705
1300		1.3084		4.92	.2932	1.227	2.05	8.58	.705
1400		1.3024		5.15	.2976	1.245	2.18	9.12	.704
1500		1.2966		5.39	.3021	1.264	2.31	9.67	.703
1600		1.2908		5.61	.3069	1.284	2.45	10.3	.702
1700		1.2849	28.756	5.84	.3120	1.305	2.60	10.9	.701
1800		1.2787	28.755	6.06	.3177	1.329	2.75	11.5	.699
1900		1.2722	28.752	6.28	.3242	1.356	2.92	12.2	.697
2000		1.2652	28.748	6.49	.3320	1.389	3.11	13.0	.693
2100		1.2575	28.741	6.71	.3416	1.429	3.33	13.9	.688
2200		1.2490	28.730	6.93	.3537	1.480	3.60	15.1	.680
2300		1.2396	28.713	7.14	.3692	1.545	3.95	16.5	.668
2400		1.2295	28.687	7.35	.3892	1.628	4.39	18.4	.652
2500		1.2187	28.648	7.56	.4147	1.735	4.97	20.8	.631
[a]300	0.0200	1.2158	30.213	1.75×10^{-4}	0.2411	1.009	0.60×10^{-4}	2.5×10^{-4}	0.709
400		1.3828	28.554	2.19	.2514	1.052	.77	3.2	.719
500		1.3731		2.59	.2561	1.072	.93	3.9	.715
600		1.3620		2.95	.2619	1.096	1.08	4.52	.712
700		1.3504		3.28	.2682	1.122	1.24	5.19	.711
800		1.3394		3.58	.2746	1.149	1.39	5.82	.710
900		1.3295		3.87	.2808	1.175	1.53	6.40	.709
1000		1.3210		4.14	.2864	1.198	1.68	7.03	.708
1100		1.3139		4.40	.2913	1.219	1.81	7.57	.707
1200		1.3073		4.65	.2960	1.238	1.95	8.16	.706
1300		1.3012		4.90	.3007	1.258	2.09	8.74	.705
1400		1.2954		5.14	.3053	1.277	2.23	9.33	.704
1500		1.2896		5.37	.3100	1.297	2.37	9.92	.703
1600		1.2839		5.60	.3149	1.318	2.51	10.5	.702
1700		1.2781	28.553	5.82	.3203	1.340	2.66	11.1	.700
1800		1.2720	28.551	6.05	.3263	1.365	2.83	11.8	.698
1900		1.2655	28.548	6.27	.3334	1.395	3.01	12.6	.695
2000		1.2583	28.543	6.48	.3421	1.431	3.21	13.4	.690
2100		1.2502	28.534	6.70	.3532	1.478	3.46	14.5	.683
2200		1.2411	28.520	6.92	.3676	1.538	3.78	15.8	.673
2300		1.2309	28.498	7.13	.3866	1.618	4.20	17.6	.657
2400		1.2197	28.465	7.35	.4116	1.722	4.75	19.9	.637
2500		1.2081	28.416	7.56	.4441	1.858	5.49	23.0	.611

[a]Properties at 300 K reflect the effect of the condensation of water from the combustion products.

TABLE IV. - Concluded. THERMODYNAMIC AND TRANSPORT PROPERTIES OF NATURAL GAS BURNED IN AIR AT 3 ATMOSPHERES (3.04×10^5 N/m^2)

Temperature, T, K	Fuel-air ratio, F/A	Ratio of specific heats, γ	Molecular weight, m	Viscosity, μ, g/(cm)(sec)	Specific heat at constant pressure, c_p		Thermal conductivity, k		Prandtl number, Pr
					cal/(g)(K)	J/(g)(K)	cal/(cm)(sec)(K)	J/(cm)(sec)(K)	
[a]300	0.0400	1.1925	31.905	1.73×10^{-4}	0.2406	1.007	0.59×10^{-4}	2.5×10^{-4}	0.709
400		1.3720	28.169	2.14	.2602	1.089	.76	3.2	.733
500		1.3614		2.54	.2657	1.112	.93	3.9	.724
600		1.3499		2.89	.2722	1.139	1.10	4.60	.720
700		1.3382		3.22	.2792	1.168	1.26	5.27	.716
800		1.3271		3.53	.2862	1.197	1.41	5.90	.714
900		1.3171		3.82	.2930	1.226	1.57	6.57	.712
1000		1.3085		4.09	.2993	1.252	1.72	7.20	.710
1100		1.3012		4.35	.3048	1.275	1.87	7.82	.709
1200		1.2946		4.61	.3100	1.297	2.02	8.45	.707
1300		1.2886		4.85	.3150	1.318	2.17	9.08	.706
1400		1.2830		5.10	.3199	1.338	2.31	9.67	.705
1500		1.2776	28.168	5.33	.3248	1.359	2.46	10.3	.703
1600		1.2723	28.168	5.56	.3299	1.380	2.62	11.0	.702
1700		1.2669	28.167	5.79	.3355	1.404	2.78	11.6	.700
1800		1.2612	28.165	6.02	.3419	1.431	2.95	12.3	.697
1900		1.2548	28.161	6.24	.3497	1.463	3.15	13.2	.693
2000		1.2474	28.154	6.46	.3601	1.507	3.39	14.2	.686
2100		1.2386	28.142	6.68	.3741	1.565	3.70	15.5	.675
2200		1.2282	28.123	6.90	.3938	1.648	4.12	17.2	.659
2300		1.2163	28.091	7.11	.4212	1.762	4.70	19.7	.637
2400		1.2032	28.042	7.33	.4586	1.919	5.52	23.1	.609
2500		1.1901	27.969	7.54	.5078	2.125	6.63	27.7	.578
[a]300	0.0600	1.1724	33.723	1.71×10^{-4}	0.2402	1.005	0.58×10^{-4}	2.4×10^{-4}	0.709
400		1.3624	27.807	2.09	.2687	1.124	.75	3.1	.747
500		1.3511		2.48	.2750	1.151	.93	3.9	.734
600		1.3392		2.83	.2821	1.180	1.10	4.60	.727
700		1.3274		3.16	.2897	1.212	1.27	5.31	.722
800		1.3163		3.47	.2974	1.244	1.44	6.02	.718
900		1.3063		3.76	.3048	1.275	1.60	6.69	.715
1000		1.2976		4.03	.3116	1.304	1.76	7.36	.713
1100		1.2903		4.30	.3176	1.329	1.92	8.03	.711
1200		1.2839		4.56	.3232	1.352	2.08	8.70	.709
1300		1.2782		4.81	.3283	1.374	2.23	9.33	.707
1400		1.2731		5.05	.3332	1.394	2.38	9.96	.705
1500		1.2683		5.29	.3379	1.414	2.54	10.6	.704
1600		1.2636	27.806	5.52	.3430	1.435	2.70	11.3	.701
1700		1.2582	27.805	5.75	.3494	1.462	2.89	12.1	.696
1800		1.2512	27.801	5.98	.3587	1.501	3.11	13.0	.688
1900		1.2418	27.792	6.20	.3730	1.561	3.42	14.3	.677
2000		1.2302	27.774	6.42	.3941	1.649	3.81	15.9	.664
2100		1.2171	27.744	6.65	.4226	1.768	4.32	18.1	.650
2200		1.2038	27.697	6.87	.4590	1.920	4.97	20.8	.634
2300		1.1909	27.629	7.08	.5038	2.108	5.80	24.3	.615
2400		1.1792	27.534	7.30	.5574	2.332	6.86	28.7	.593
2500		1.1690	27.409	7.52	.6195	2.592	8.21	34.4	.567

[a]Properties at 300 K reflect the effect of the condensation of water from combustion products.

Para determiner la energía interna, primero determinamos Cv, estos datos las tablas nos los dan indirectamente, nos can Cp, γ razón de calor específico.

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} \rightarrow C_V = \frac{C_P}{\gamma}$$

Pero Cp nos dan en unidades de kj/kg K debemos llevarla a unidades de Kj/Kmol K

$$C_V = \frac{C_P}{\gamma} = \frac{C_P\left(\frac{kj}{kg * \Delta K}\right) * PesoEspecífico(\frac{kg}{kmol})}{\gamma}$$

Para finalmente obtener la energía interna por medio de:

$$U = Cv * T$$

Los resultados son mostrados a continuación.

AF st	17.2
k-c	273
vi energ inter	0

Temperatura		CALOR ESPECÍFICO (V=cte) PRODUCTOS COMBUSTIÓN GAS NATURAL (KJ/Kmol*C)			
		fuel /aire			
		0.01	0.02	0.04	0.06
		alpha			
k	c	5.81395349	2.90697674	1.45348837	0.96899225
300	27	24.1752258	25.0739571	16.6900442	28.9078941
400	127	21.3896753	21.7231762	22.3586305	22.9411832
500	227	21.9075145	22.292541	23.0086147	23.6887403
600	327	22.565221	22.9773744	23.7680502	24.5013889
700	427	23.2632329	23.7245172	24.586304	25.3895465
800	527	24.0086667	24.4949574	25.4074998	26.2796536
900	627	24.7244784	25.2357653	26.2206317	27.1407219
1000	727	25.3572643	25.8953005	26.9526848	27.9441492
1100	827	25.905246	26.4916097	27.6018099	28.641016
1200	927	26.4271251	27.0403519	28.2212212	29.2819254
1300	1027	26.9679295	27.6060037	28.8116887	29.8911109
1400	1127	27.4896076	28.1484159	29.3765565	30.447693
1500	1227	28.0339719	28.7178489	29.9626738	31.0014176
1600	1327	28.6055067	29.3123857	30.5524169	31.5777224
1700	1427	29.205837	29.9358579	31.2151456	32.3087824
1800	1527	29.8861304	30.6384552	31.9569577	33.3514234
1900	1627	30.6458984	31.4693481	32.8335536	34.9358286
2000	1727	31.5609959	32.4604888	34.0132099	37.2291709
2100	1827	32.6607467	33.7332043	35.5580736	40.3018585
2200	1927	34.0435548	35.3426477	37.7354698	44.1753115
2300	2027	35.787016	37.4602031	40.6941889	48.9058124
2400	2127	37.9849012	40.1875297	44.7245662	54.4515672
2500	2227	40.7846722	43.7024485	49.9404462	60.77342

alpha			
5.813953488			
temperatura	ratio of specific heats	molecular weight, mol	especific heat at constant pressure cp (j/(g*K)
300	1.2287	29.41	1.01
400	1.3888	28.757	1.033
500	1.3796	28.757	1.051
600	1.3687	28.757	1.074
700	1.3573	28.757	1.098
800	1.3463	28.757	1.124
900	1.3364	28.757	1.149
1000	1.328	28.757	1.171
1100	1.321	28.757	1.19
1200	1.3145	28.757	1.208
1300	1.3084	28.757	1.227
1400	1.3024	28.757	1.245
1500	1.2966	28.757	1.264
1600	1.2908	28.757	1.284
1700	1.2849	28.756	1.305
1800	1.2787	28.755	1.329
1900	1.2722	28.752	1.356
2000	1.2652	28.748	1.389
2100	1.2575	28.741	1.429
2200	1.249	28.73	1.48
2300	1.2396	28.713	1.545
2400	1.2295	28.687	1.628
2500	1.2187	28.648	1.735

alpha			
2.906976744			
temperatura	ratio of specific heats	molecular weight, mol	especific heat at constant pressure cp (j/(g*K)
300	1.2158	30.213	1.009
400	1.3828	28.554	1.052
500	1.3731	28.554	1.072
600	1.362	28.554	1.096
700	1.3504	28.554	1.122
800	1.3394	28.554	1.149
900	1.3295	28.554	1.175
1000	1.321	28.554	1.198
1100	1.3139	28.554	1.219
1200	1.3073	28.554	1.238
1300	1.3012	28.554	1.258
1400	1.2954	28.554	1.277
1500	1.2896	28.554	1.297
1600	1.2839	28.554	1.318
1700	1.2781	28.553	1.34
1800	1.272	28.551	1.365
1900	1.2655	28.548	1.395
2000	1.2583	28.543	1.431
2100	1.2502	28.534	1.478
2200	1.2411	28.52	1.538
2300	1.2309	28.498	1.618
2400	1.2197	28.465	1.722
2500	1.2081	28.416	1.858

alpha			
1.453488372			
temperatura	ratio of specific heats	molecular weight, mol	especific heat at constant pressure cp (j/(g*K))
300	1.925	31.905	1.007
400	1.372	28.169	1.089
500	1.3614	28.169	1.112
600	1.3499	28.169	1.139
700	1.3382	28.169	1.168
800	1.3271	28.169	1.197
900	1.3171	28.169	1.226
1000	1.3085	28.169	1.252
1100	1.3012	28.169	1.275
1200	1.2946	28.169	1.297
1300	1.2886	28.169	1.318
1400	1.283	28.169	1.338
1500	1.2776	28.168	1.359
1600	1.2723	28.168	1.38
1700	1.2669	28.167	1.404
1800	1.2612	28.165	1.431
1900	1.2548	28.161	1.463
2000	1.2474	28.154	1.507
2100	1.2386	28.142	1.565
2200	1.2282	28.123	1.648
2300	1.2163	28.091	1.762
2400	1.2032	28.042	1.919
2500	1.1901	27.969	2.125

alpha			
0.968992248			
temperatura	ratio of specific heats	molecular weight, mol	especific heat at constant pressure cp (j/(g*K))
300	1.1724	33.723	1.005
400	1.3624	27.807	1.124
500	1.3511	27.807	1.151
600	1.3392	27.807	1.18
700	1.3274	27.807	1.212
800	1.3163	27.807	1.244
900	1.3063	27.807	1.275
1000	1.2976	27.807	1.304
1100	1.2903	27.807	1.329
1200	1.2839	27.807	1.352
1300	1.2782	27.807	1.374
1400	1.2731	27.807	1.394
1500	1.2683	27.807	1.414
1600	1.2636	27.806	1.435
1700	1.2582	27.805	1.462
1800	1.2512	27.801	1.501
1900	1.2418	27.792	1.561
2000	1.2302	27.774	1.649
2100	1.2171	27.744	1.768
2200	1.2038	27.697	1.92
2300	1.1909	27.629	2.108
2400	1.1792	27.534	2.332
2500	1.169	27.409	2.592

Temperatura		ENERGÍA INTERNA PRODUCTOS COMBUSTIÓN GAS NATURAL (KJ/Kmol)			
		fuel /aire			
		0.01	0.02	0.04	0.06
		alpha			
k	c	5.81395349	2.90697674	1.45348837	0.96899225
300	27	0	0	0	0
400	127	2138.96753	2172.31762	2235.86305	2294.11832
500	227	4381.5029	4458.50819	4601.72293	4737.74806
600	327	6769.5663	6893.21233	7130.41507	7350.41667
700	427	9305.29316	9489.80687	9834.5216	10155.8186
800	527	12004.3334	12247.4787	12703.7499	13139.8268
900	627	14834.6871	15141.4592	15732.379	16284.4331
1000	727	17750.085	18126.7104	18866.8793	19560.9044
1100	827	20724.1968	21193.2878	22081.4479	22912.8128
1200	927	23784.4126	24336.3167	25399.0991	26353.7328
1300	1027	26967.9295	27606.0037	28811.6887	29891.1109
1400	1127	30238.5684	30963.2575	32314.2122	33492.4623
1500	1227	33640.7663	34461.4187	35955.2085	37201.7012
1600	1327	37187.1587	38106.1014	39718.1419	41051.0391
1700	1427	40888.1718	41910.2011	43701.2039	45232.2953
1800	1527	44829.1957	45957.6828	47935.4365	50027.1352
1900	1627	49033.4375	50350.9569	52533.6857	55897.3258
2000	1727	53653.693	55182.8309	57822.4568	63289.5905
2100	1827	58789.3441	60719.7677	64004.5325	72543.3453
2200	1927	64682.7542	67151.0305	71697.3926	83933.0919
2300	2027	71574.0319	74920.4062	81388.3779	97811.6248
2400	2127	79768.2925	84393.8124	93921.5889	114348.291
2500	2227	89726.2788	96145.3866	109868.982	133701.524